

インドネシア・フィリピン島弧系の形成モデル

鈴木 尉 元*

On the Formation of Southeast Asian Island Arcs

Yasumoto SUZUKI*

(1993年 8 月20日受理)

(Received 20, August, 1993)

Abstract

Based on the data of focal mechanism by Hayes and Taylor (1978), the author examined the nature and direction of faults accompanied by earthquakes in Southeast Asia, and compared them with the geologic and topographic features. Most of the faults run nearly parallel to their general trend, though some faults cut obliquely or perpendicularly them. Reverse faults are dominant, and followed by normal and strike-slip faults less than 300km in depth, but normal faults are predominant more than 300km in depth.

These phenomena show that the geologic structures must be the surface features of the deep structures and convection current cannot be the driving force of tectogenesis.

These phenomena might be explained by the upheaval of inner zone and subsidence of the outside of the area due to the deep process of the earth, and the deep earthquake zones are formed along the boundary of two areas.

まえがき

さきに筆者らは、日本列島・千島列島と日本海・オホーツク海などの縁海、さらにその内側の台地上の内陸盆地などは一つの地質構造単元を構成していて、この単元の隆起、その東方にひろがる太平洋の沈降運動にともなう、両単元の境界付近に深発地震面が形成されるとするモデルを提案した (Suzuki *et al.*, 1977). この規模の地質構造単元は、インドネシア群島からフィリピン群島地域にも認められると考える。ここでは、外側に大スンダ列島・小スンダ列島・ハルマヘラ島・フィリピン群島などが位置し、その内側にジャワ海・フローレス海・バンダ海・モルッカ海・セレベス

* すずき・やすもと
工業技術院地質調査所地質情報センター
Geological Survey of Japan, Higashi 1-1-3, Tsukuba, 305 Japan

海・スル海などの縁海，さらにその内側に，新しい時代に台地的な性格をもったインドシナ半島からカリマンタンが位置し，それらの上に堆積盆地が形成されている．この構造单元に対して，その外側南方にインド洋，東方に太平洋が拡がり，両者の境界に外側から内側に傾く深発地震面が形成されている(図1)．さきの日本列島を含む東アジアの地域の東縁を画す深発地震面が，太平洋に向かって凹の形態を示すのに対して，大スンダ列島・小スンダ列島・フィリピン群島などを含む東南アジアの地域の外縁を画す深発地震面は，インド洋・太平洋に対して凸の形態を示す点で対照的であるが，構造的には似た配列をもっている．さらに，縁海とその内側の堆積盆地が，基本的に正断層に境されている陥没盆地である点も両者共通している．

この地域については，Hayes and Lamont-Doherty Geological Observatory (1978)による地球物理学的諸資料のまとめがなされている．これには，地震の発震機構，堆積盆地をうめる堆積物の等層厚線図，屈折法地震探査による海域の地殻の速度柱状図，フリーエア重力異常図，磁気異常図，熱流量・熱伝導度・地熱勾配図が含まれている．

本小論では，主としてこれらの資料のうち地震の発震機構(Hayes and Taylor, 1978)を中心に検討して，この地域の造構運動機構について検討することにする．

この地域の発震機構に関する最近の研究には，Fitch (1970)による44の浅発地震についての断層の性格，スリップ・ベクトルの検討結果，Fitch and Molnar (1970)による28の中・深発地震について，主圧力軸の方向の検討結果がある．これらはいずれもプレート・テクトニクスにもとづく解釈でしめくられている．筆者は，断層の性格，その方向と地質構造との関係を議論するので，上記の論文とは視点が異なっている．なお，Hayes and Taylor (1978)には，これらの資料も含まれている．

1. 発震機構の型

地球表面で観測されるP波初動の押し・引き分布を震源に引きもどすと，一般に直交する2つの節面によって押しの領域と引きの領域に分けることができる．規模の大きな浅い地震の場合，この2つの節面の一方に平行する断層が地表に出現し，その運動方向は，その節面の両側のP波初動と平行することが知られている．

このP波初動の節面は，ステレオ等面積投影法で表現されるが，以下に検討するHayes and Taylor (1978)では下半球投影法を採用している．このようにして表現されたP波初動分布は，2つの節面の走向・傾斜の組み合わせによって，次のような7つの型に分けることができる．第1の型は，2つの節面の走向が平行で鉛直方向に射出される波が引き波である型である．第2の型は，2つの節面の走向が平行する点は第1の型と同じであるが，鉛直方向に射出される波が押し波である型である．第3の型は，2つの節面の走向が異なり，ともにかなり傾いているが，鉛直方向に射出される波が引き波である型である．第4の型は，2つの節面の走向が異なり，ともにかなり傾いている点では第3の型と同様であるが，鉛直に射出される波が押し波である型である．第5の型は，一方の節面が急で他方の節面がゆるく，急な節面の上盤側から引き波を射出する型である．第6の型は，一方の節面が急で他方の節面がゆるい点は第5の型と同じであるが，急な節面の上盤側から

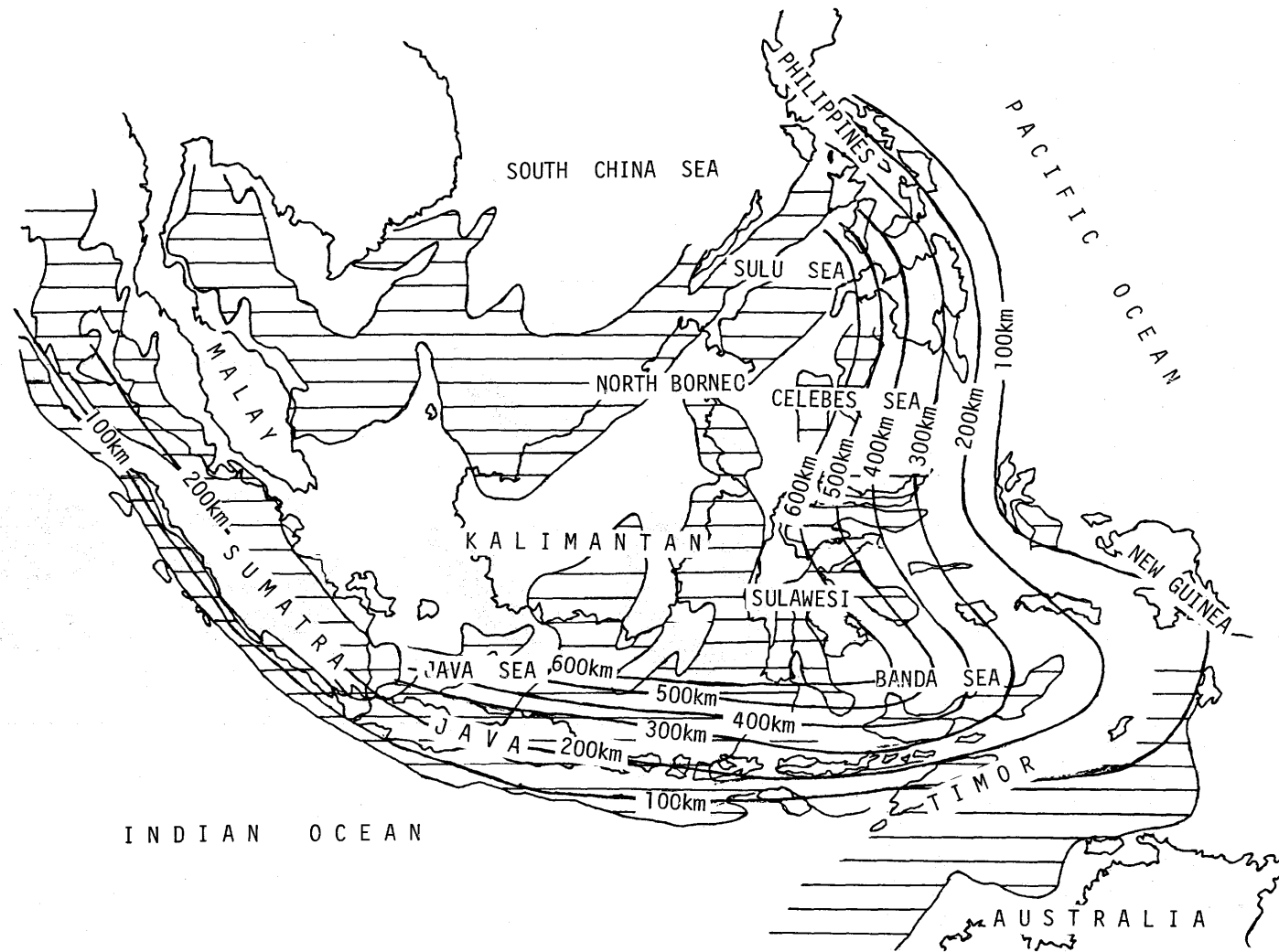


図1 東南アジアの島弧系と堆積盆地ならびに深発地震面の等深線図。

押し波を射出する型である。第7の型は、両方の節面とも垂直な型である。

このような発震機構型のうち、第1と第2の型では、断層面の走向と断層の性格が一義的にきまる。すなわち両者とも断層の走向は節面の走向に平行し、第1の型の断層は傾斜ずりの正断層、第2の型の断層は傾斜ずりの逆断層である。第5と第6の型では、急な節面が第1と第2の型の節面に平行する傾向がある（鈴木ほか、1977）ので、急な節面にそって断層運動がおこなわれると考えられる。第5の型は、走向ずり成分をもつ正断層、第6の型は、走向ずり成分をもつ逆断層である。第3、4、7の型では、2つの節面のうちどちらの節面にそって断層運動がおこなわれるか、決定することはできない。

このようにして決められた断層の走向や性格を、図2のような記号で示した。なお、第1と第2の型の発震機構において、急な節面とゆるい節面の組み合わせの場合には、前者にそって断層運動がおこなわれると考え、第3と第4の型の記号で示した。

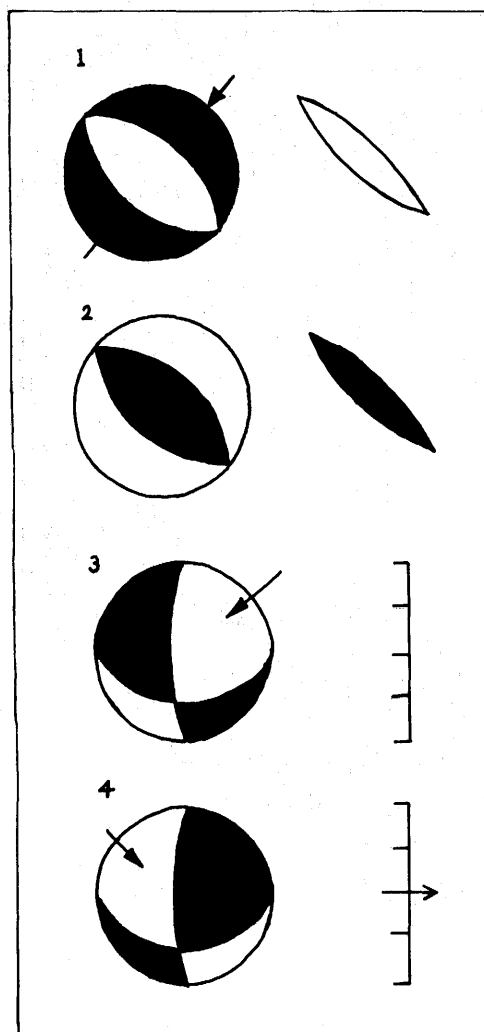


図2 P波初動分布のステレオ投影図（下半球投影）と断層の性格

- 1：傾斜ずり正断層， 2：傾斜ずり逆断層， 3：走向＋傾斜ずり正断層，
4：走向＋傾斜ずり逆断層。

2. 発震機構から推定される断層運動

ここで検討の材料とする Hayes and Taylor (1978) では、震源の深さを100km未満、100ないし300 km、300ないし500km、500km以上に区分して示しているの、以下それらの深さごとに検討することにする。

深度100 km未満の地震

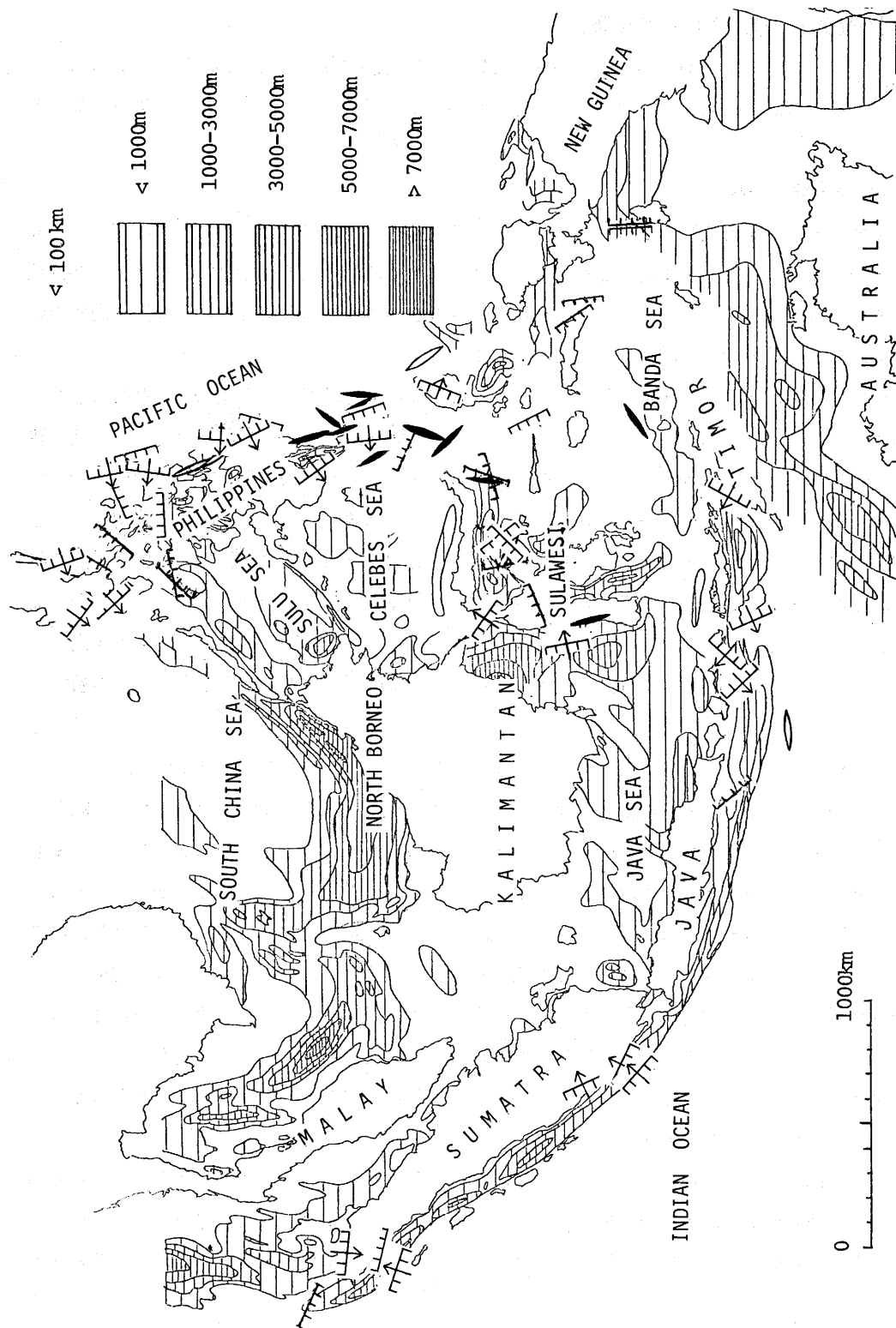
この深度の地震で発震機構の求められているものは、スマトラ島・ジャワ島などの大スンダ列島、その東方のバリ島からウェタル島に至る小スンダ列島とその延長島嶼地域では、列島にそう外側地域のもので大部分である。ただし、スマトラ島北縁付近と小スンダ列島東方では、列島の内側ないし縁海部に多くの発震機構の求められた地震が分布している。

この地域の地震にともなう断層運動は、ほとんど垂直ないし逆断層である(図3)。ただし小スンダ列島西部沖合のスンダ海溝ぞいの2つの地震はすべて正断層、スマトラ島北部ないしその延長地域では、正断層がかなりの割合をしめている。スマトラ島北部とその周辺地域では、断層の走向は、西北西-東南東ないし東西で、海側に対して陸側が下がる運動傾向を示す。スマトラ島南部ないしその沖合の地震は、北西-南東ないし西北西-東南東の走向でほぼ島弧に平行し、海側に対して陸側が下がる運動傾向を示す。ジャワ島東部から小スンダ列島ぞいの地震では、北西-南東ないし北東-南西の走向をとる。ただし、スンダ海溝ぞいの地震では、スンダ海溝に平行して東西走向をもつ正断層である。また、バンダ海東部のものは北東-南西ないし東北東-西南西走向の逆断層である。

スラウェシ島からマルク諸島周辺地域では、多くの地震の発震機構が求められている。とくにモルッカ海からモルッカ海峡ぞいの地域の地震が多い。スラウェシ島中部ないしマカッサル海峡ぞいの地震では、垂直ないし逆断層である。スラウェシ島北部のトミニ湾の地震は、垂直ないし正断層である。モルッカ海からモルッカ海峡ぞいの地震は、わずかに正断層をまじえているが、ほとんど垂直ないし逆断層である。なお、モルッカ海南東縁の地震は正断層である。スラウェシ島西南部の地震では、マカッサル海峡にほぼ平行して南北の走向をとる逆断層、中部の地震では東北東-西南西の垂直な断層、マカッサル海峡北部では北西-南東、西北西-東南東の垂直断層ないし逆断層の活動が見られる。トミニ湾ないしその周辺地域の地震は、湾の長軸方向に斜交するものが多い。モルッカ海峡ぞいの地震では、その長軸方向に平行する北北東-南南西ないし南北方向をとるものが多いが、これに斜交するものも少なくない。

フィリピン群島のルソン島からミンダナオ島にいたる間は、とくにフィリピン海溝に面した外側地域に多くの発震機構を求められた地震が分布している。ついでルソン島西南部、ミンドロ島、パナイ島とそれらの西方沖合地域、さらにフィリピン群島中央部で少数の地震の発震機構の解析がされている。

ルソン島北部の東方沖合地域の地震は、垂直ないし逆断層である。ルソン島南部からミンダナオ島沖合のフィリピン海溝付近からその内側地域の地震は、正断層と逆断層が同じ位の割合である。ミンダナオ島とハルマヘラ島には含まれた地域の東方沖合地域の地震は、2つの正断層があるがほ



横線は堆積物の層厚分布を示す。
以下図4、5、6も同じ。

図3 深夜100 km 未満の地震にともなう断層運動

ほとんど逆断層である。ルソン島西南部・ミンドロ島・パナイ島とその西方沖合地域の地震は、1つを除き垂直ないし逆断層である。フィリピン群島中央部の地震は、正断層と逆断層が各々2と3例で半々に近い。

ルソン島北部の東方沖地域の地震は、北北西－南南東の走向、つまり島の外縁に平行する断層にともなうものが多い。南縁部の地震では、北北西－南南東走向のものが見られる。ルソン島南部からミンダナオ島沖合のフィリピン海溝付近にまでいたる地域の地震は、南北ないし北北西－南南東の走向をもつ海溝に平行するものが多い。なお北部には、海溝にほぼ直交する東北東－西南西の走向をもつものがある。ルソン島・ハルマヘラ島間のフィリピン海溝付近までの沖合の地震は、海溝に平行する北北西－南南東の走向をもつものが多い。なお、ミンダナオ島南東方には、海溝に直交する東北東－西南西の走向をもつものがある。ルソン島西南部とミンドロ島にはさまれた地域の地震は、北北西－南南東ないし北西－南東の走向をもち、島の外縁の一般走向にほぼ平行する。パナイ島北西方の地震では、東北東－西南西ないし北東－南西の走向でフィリピン群島の一般走向に直交して南西方にのびるパラワン島の走向に近い方向をとる。フィリピン群島中央部の地震も北東－南西ないし東西の走向をとる。

深度100－300 kmの地震

この深さの地震では、スマトラ島中・南部、ジャワ島西部、ジャワ島東部の南方沖合、バンダ海東部、モルッカ海、モルッカ海峡からミンダナオ島南縁付近にいたる地域、ルソン島南西方などのものが解析されている（図4）。

スマトラ島中・南部の地震は、垂直ないし逆断層にともなうもので、北北西－南南東ないし北西－南東の走向をもち、スマトラ島の脊稜山脈であるバリサン山脈、またスマトラ断層の一般走向にほぼ平行する。

ジャワ西部の地震は、垂直ないし正断層である。ジャワ島東部の南方沖合の地震は、東西走向をもつ北落ちの正断層である。

バンダ海東部の地震では、解析された13の地震のうち正断層は1つ、他はすべて垂直ないし逆断層である。断層の走向は、南北に近いもの、次いで東西のものが多い。

モルッカ海の地震では、解析されたものは垂直ないし逆断層である。断層の走向は、東西と南北である。

モルッカ海峡からミンダナオ島東南縁付近にいたる地域の地震は、垂直ないし逆断層である。これらの大部分のものにともなう断層は、北北西－南南東ないし南北走向で、ほぼモルッカ海峡の西部を走り、ミンダナオ島南部にいたる凹地地形に平行する傾向がある。

深度300－500 kmの地震

この深さの地震は、バンダ海の東部から南部にかけての地域、セレベス海南東部に見られる（図5）。

バンダ海東部ないし南部の地震は、垂直な断層ないし正断層である。断層の走向は、東西と南北走向をもつものがあるが、東西走向のものは西部に、南北走向のものは東部に分布している。

セレベス海南東部の地震は、垂直な断層と正断層である。断層の走向は、南北ないし北北西－南

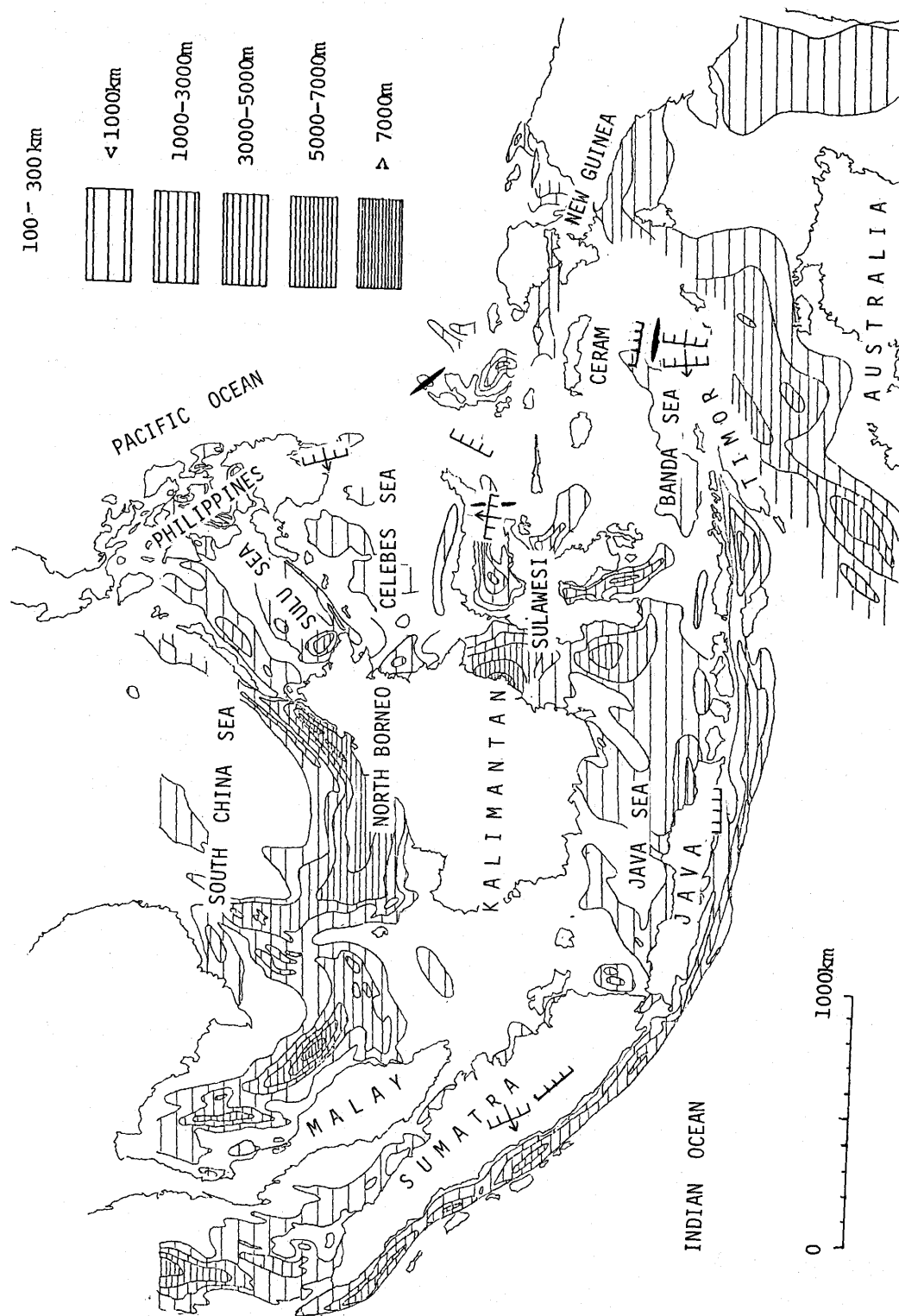


図4 深度100—300 km 未満の地震にともなう断層運動

南東である。

深度500 km以上の地震

この深度の地震は、ジャワ海中央部、フローレス海東部からバンダ海西部にかけての地域、スラウェシ島南東部、ミンダナオ島北方のボホール海からセレベス海北部に分布している（図6）。

ジャワ海の地震は、解析された6つの地震のうち一つの高角逆断層のほかはすべて正断層である。走向は、西北西－東南東ないし北西－南東である。

フローレス海東部からバンダ海西部にかけての地震は、垂直な断層ないし正断層である。断層の走向は、北北東－南南西と南北ないし北北西－南南東である。スラウェシ島南東部の地震は、北西－南東の走向をもつ。

ボホール海からセレベス海北部の地震は、すべて正断層で、走向は北北東－南南西ないし南北である。

3. 断層運動と地質構造との関係

断層運動の深度別の性格の変化

スマトラ島付近では、100km未満の地震は、北部ないしその延長部では正断層と逆断層がほぼ同じ位の割合で発生するのに対して、南部では逆断層が多い。100kmないし300kmでは逆断層が多い。

ジャワ島付近では、100km未満の地震は垂直断層であるが、100－300kmの地震では正断層、500km以上ではほとんど正断層である。

小スンダ列島とその東方延長地域では、100km未満の地震はスンダ海溝付近に正断層が発生しているが、他はほとんど逆断層である。100－300kmの地震もほとんど逆断層である。これに対して300－500kmの地震、500km以上の地震では、ほとんど正断層でしめられる。

フィリピン群島からハルマヘラ島付近にいたる地域では、100km未満の地震では逆断層が多いものの、正断層もかなりの割合で発生している。100－300kmの地震では逆断層が卓越している。これに対して300－500kmの地震、500km以上の地震では、ほとんど正断層にともなうものである。

以上まとめると、100km未満の地震では逆断層が卓越するものの正断層にともなうものもかなりある。100－300kmの地震では、ジャワ島付近を除いて逆断層にともなうものが卓越する。300km以上の深度の地震では、正断層にともなうものが卓越する。

断層運動の一般走向

地震にともなう断層運動は、大構造の一般走向に平行しておこなわれる傾向がある。この傾向は、100kmより深い地震にとくに顕著に認められる（図7）。

深度100km未満の地震では、大スンダ列島・小スンダ列島ぞいのスマトラ南部やバリ島、バンダ海では北西－南東ないし東北東－西南西、マカッサル海峡ぞいの地域では南北、モルッカ海からモルッカ海峡ぞいの地域では東西か南北、フィリピン群島からハルマヘラ島付近にいたる地域では北北西－南南東の走向で大構造の一般走向と平行した断層運動にともなう発生している。しかし、スマトラ島北部からその延長地域、ジャワ島東南方からティモール島北西方にいたる地域に発生した地震では、島弧の一般走向に斜交する断層にともなうものである。またスラウェシ島北部のトミニ

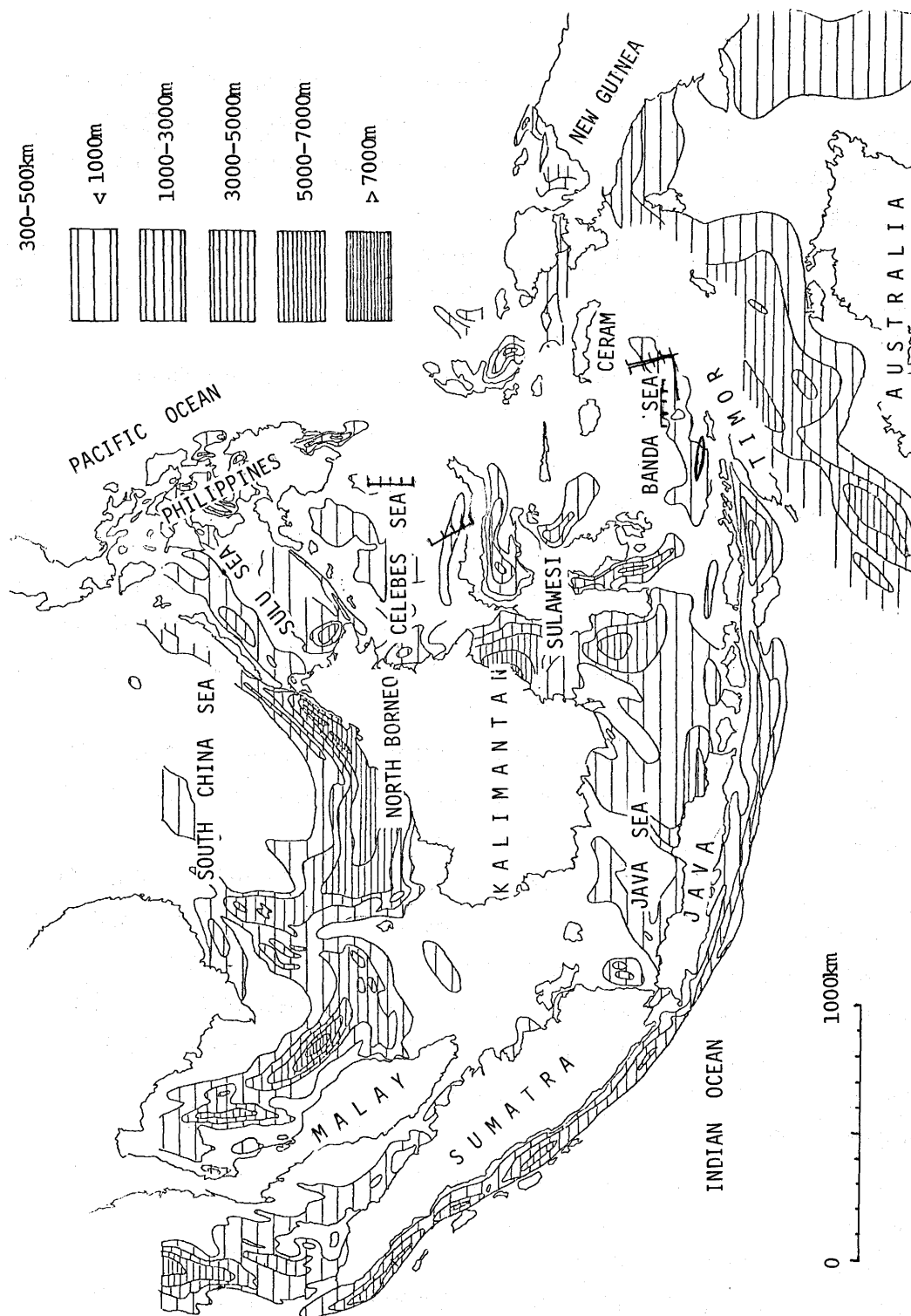
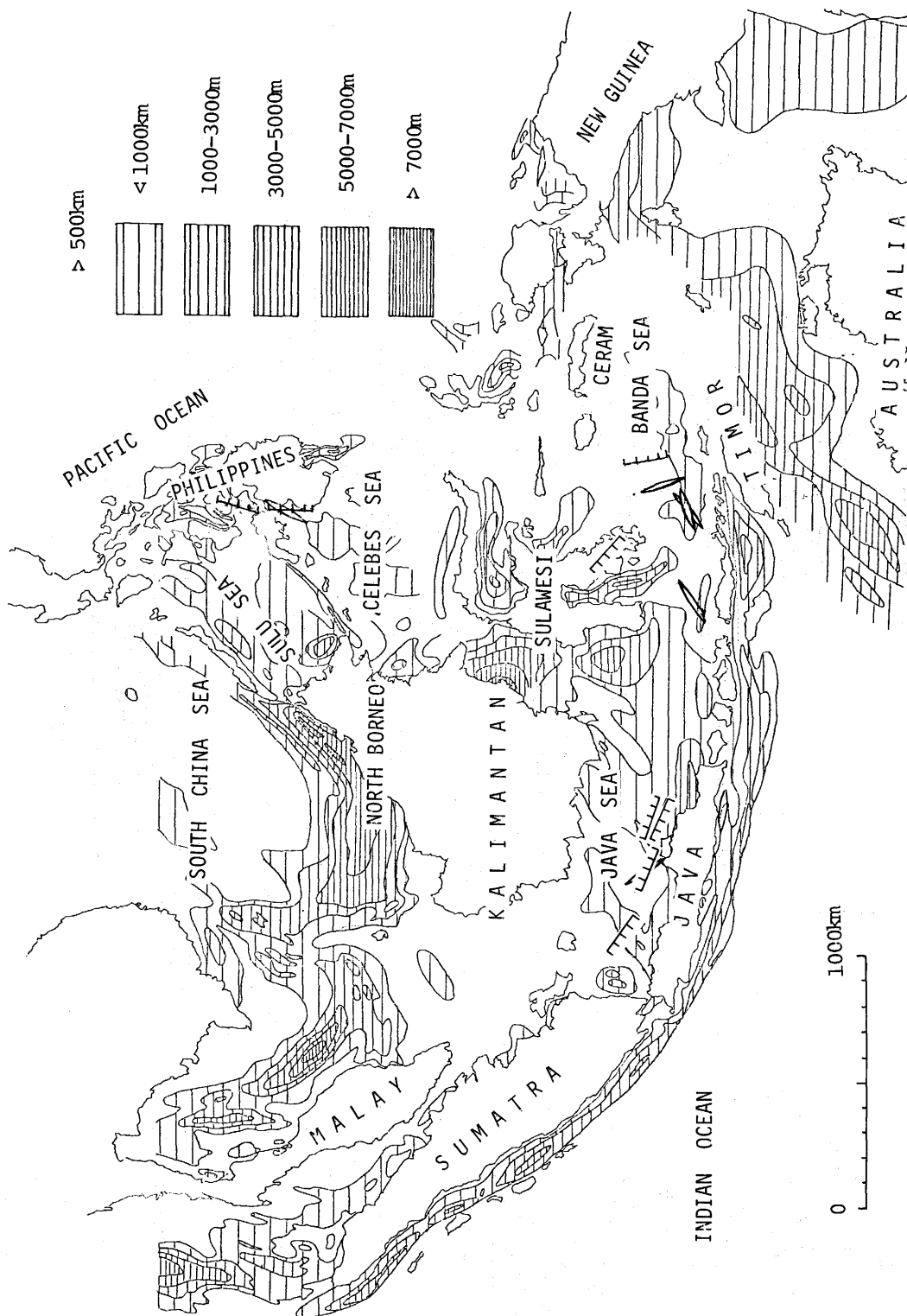


図 5 深度300—500 km の地震にともなう断層運動



6 図 深度500 km 以上の地震にともなう断層運動

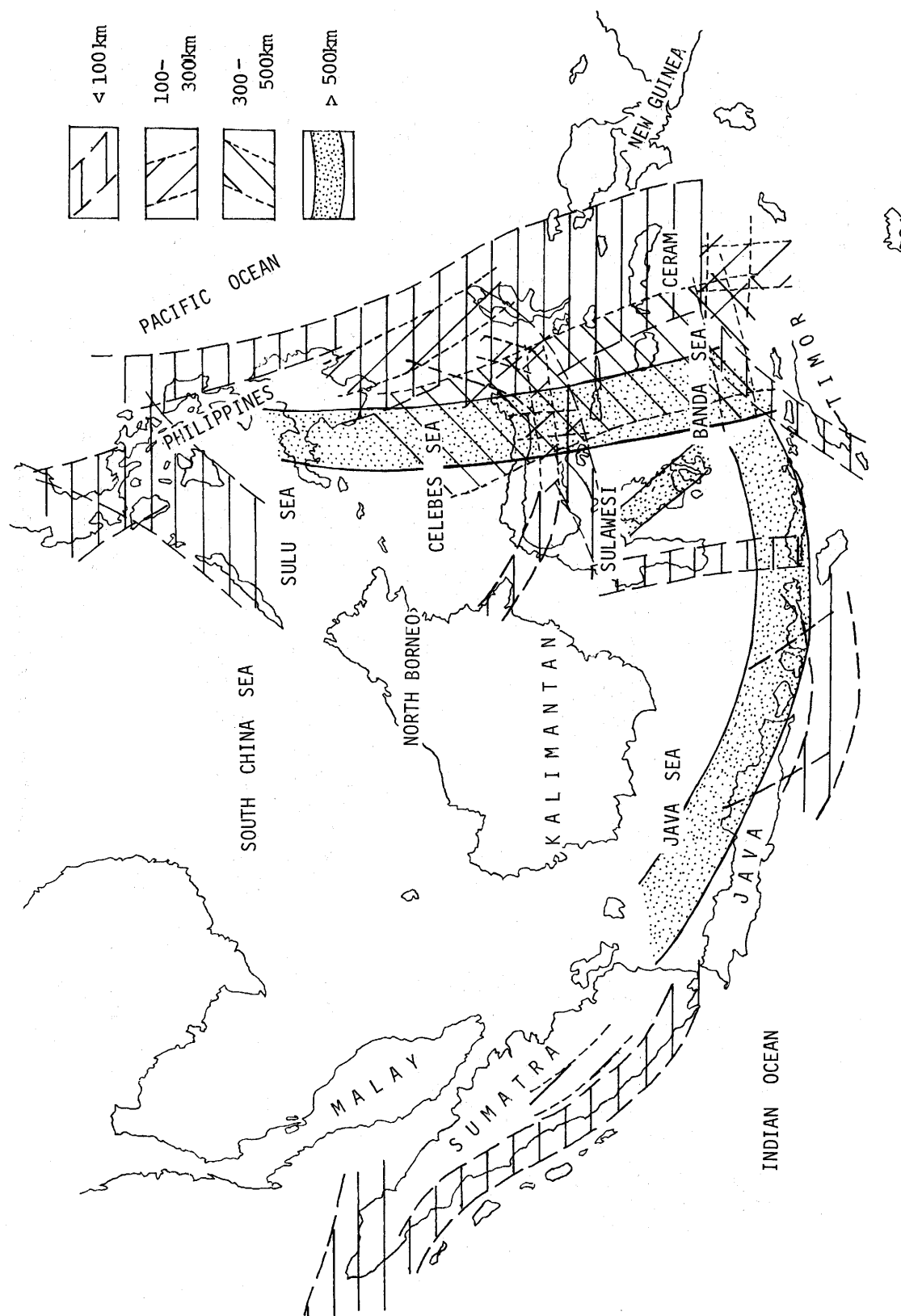


図7 地震にともなう断層運動の、深度別一般走向

湾に発生した地震では、この地域の構造の一般走向に直交する南北の走向をもつ断層にともなっている。フィリピン群島ルソン島南東部からその南西延長地域に発生した地震では、フィリピン群島の一般走向に直交してのびるパラワン島と平行して北東―南西ないし東西の走向をもつ断層にともなって発生している。

深度100―300kmの地震では、スマトラ島からジャワ島にいたる大スンダ列島ぞいの地震は、島弧にほぼ平行する北西―南東から東西走向の断層にともなうものである。モルッカ海からモルッカ海峡にいたる地域の地震は、東西から北北東―南南西の走向の断層にともなうもので、やはりこの地域の一般的な構造方向に平行している。フィリピン群島南部からハルマヘラ島付近の地震では、南北ないし北北西―南南東の走向の断層にともなっていて、この地域の島弧の一般走向に平行している。バンダ海東部の地震では、東西走向の断層はこの地域の一般走向とほぼ平行していると見て良いかも知れない。ただしこれと直交する南北の走向の断層にともなうものも見られ、これはこの地域の一般の構造方向と直交している。またモルッカ海には、一般構造方向と直交する南北方向の断層にともなう地震も発生している。

深度300―500kmの地震では、バンダ海の中・西部のものは東西走向でこの地域の一般走向に平行する断層にともなうものであるが、中部に、これに直交する南北走向の断層にともなうものが見られる。東西走向の断層では南側が落ちる傾向があるが、南北の走向の断層では西側が落ちるものと東側が落ちるものがある。セレベス海に見られる南北ないし北北西―南南東の断層の走向は、堆積盆地規模の構造単位とは必ずしも平行しない、あるいは斜交するが、フィリピン群島からハルマヘラ島にいたるより大きな島弧単位とほぼ平行すると思われる。

深度500km以上の地震については、ジャワ海からバンダ海西部にいたる地震は、西北西―東南東ないし東北東―西南西走向の断層にともなうもので、ほぼ大スンダ列島・小スンダ列島の島弧の一般走向にほぼ平行する。なお、落ちの方向は、内側が落ちるものと、外側が落ちるものがほぼ同じ位の割合である。バンダ海中部の地震は、ほぼ南北走向の断層にともなう地震で、フィリピン群島からハルマヘラ島にいたる島弧に平行する傾向がある。これらの地震はすべて外側が落ちている。スラウェシ島南東部の地震は、北西―南東走向の断層にともなうものであるがこれも同系統のものと見た方がよいかもしれない。ただし落ちのセンスは逆で、内側が落ちている。フィリピン中・南部の地震は、北北東―南南西ないし南北の走向の断層にともなうものであるが、これは、フィリピン群島弧の一般走向にほぼ平行し、またこの地域の堆積盆地の一般走向にも平行している。外側が落ちる傾向をもっている。

このように、深部の断層運動が地質構造単元の一般走向と平行するのは、地表付近の地質構造の根が深く、地質構造が深部の構造を垂直上方に直接反映して形成されていることを示すものと考えられる。また、Holmes(1965)らが考えるような対流は、島弧の内側にはないことを示しているとも考える。

4. フィリピン・インドネシア弧の形成モデル

造構運動モデルは、地質学的資料の分析からえられる地殻表層部の運動像が一つの境界条件とな

り、さらに島弧・海溝系においては、深発地震面の形態とP波初動分布の解析からえられる深発地震面近傍の応力状態や断層の性格が他の境界条件となる。また火成活動が深部の運動を考える条件を与える。これらの境界条件を満足するような深部過程を考えることになる。

なお、インドネシア群島からフィリピン群島にいたる地域を含む地質構造単元は、新第三紀の初期からの古地理の変遷から全般的な隆起傾向にあるものと考えられる。その間の海域は、この全般的な隆起傾向にとり残された地域、あるいは全般的な隆起傾向のなかの局部的な沈隆地域と考える。これに対して海洋は全般的な沈降状態にあると考えられる。なお島弧の褶曲は、プレートの沈みこみにともなう横圧力によって形成されると一般に考えているが、筆者は、褶曲は基盤地塊の昇降運動にともなう被覆層の変形の結果であって、基本的には横圧力は必要条件ではないと考えている (Kodama *et al.*, 1985; 鈴木・小玉; 1987)。したがって、褶曲運動を説明するための剛体的なプレートのしめつけのような機構は必要がないと考える。

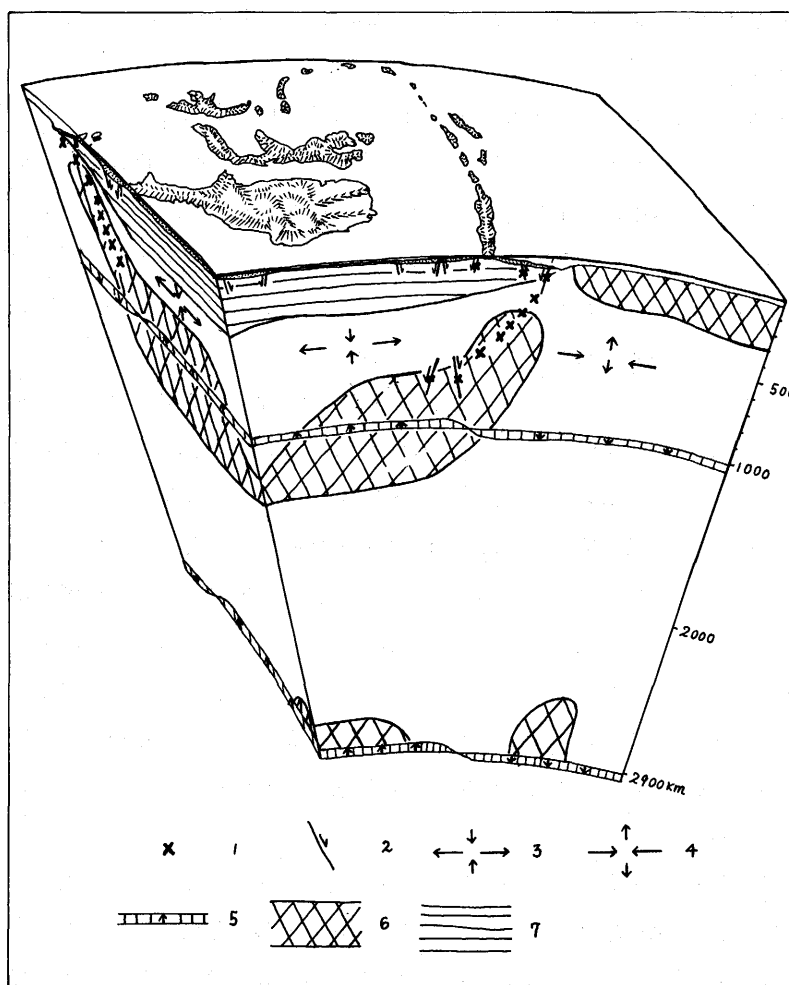


図8 インドネシア島弧系の形成モデル

1. 震源, 2. 断層にともなう変位, 3. 水平展張応力場
4. 水平圧縮応力場, 5. 境界面の変位傾向
6. 地震波速度が平均より速い, 7. 地震波速度が平均より遅い

筆者は、フィリピン・インドネシア弧の形成機構は、カリマンタンからインドシナ半島にいたる地域を中心に大スンダ列島・小スンダ列島、スラウェシ、ハルマヘラ、フィリピン群島にいたる地域が隆起し、その南方のインド洋、東方の太平洋が沈降する運動が基本である。そして、このような運動は、少なくとも深発地震の発生する700kmよりも深いところに起因する垂直な運動を直接反映しておこなわれる。このような第一級の構造単元の隆起・沈降運動は、深部の単元の隆起・沈降運動を直接反映したもので、このような運動にともなう、対照的な運動傾向をもつ構造単元の境界付近に深発地震面が形成されると考える(図8)。

このような運動がおこなわれると、隆起単元は水平引張り状態になり、構造単元の境界に平行する方向と直交する方向に展張割れ目が形成され、割れ目にそって断層運動にともなう地塁・地溝が形成される。地塁は島に、地溝は縁海や堆積盆地になり、堆積物にうめたてられていく。地震にともなう断層運動は、島弧に平行する方向が卓越し、島弧に直交するものがこれに次ぐが、この地域の地形や地質構造単元の境界の方向がこれら2方向に支配されているのは、上記のような機構によるものと考えられる。とくにフィリピン群島から小スンダ列島にいたるこの地域東部の複雑な地形と地質構造は、このような機構によって説明が可能であろう。

300kmよりも深部では、主圧力軸が垂直にちかく、断層運動として正断層が卓越する事実は、島弧―海溝系の内側単元の深部からの上昇運動によってよりよく説明することができるであろう。縁海域に深発地震が多発しそれより内側にその発生を見ないのは、縁海が深部の隆起と沈降運動の境界にあたり、変形の肩の部分に相当することによるものと考えられる。

300kmよりも浅い地震では、逆断層がより卓越するのに対して、300kmより深い地震ではほとんどが正断層であるのは、地球のような球体において中心に向かう重力が働いている時、地表に近づくほど水平方向の圧縮応力が垂直方向の圧縮応力よりも大きくなることによるものと考えられる(Sezawa, 1937, 1939; 小玉・鈴木, 1977)。このような初期応力状態下で前記のような差別的な隆起・沈降運動をおこなわせると、隆起域は全般的に膨張域となり、深部ではとくに正断層がしやすい状態になる(Suzuki *et al.*, 1977)。この地域において、300km付近を境に、正断層と逆断層の割合が変化するの、上記のような条件によるものと考えられる。

最近の地震波トモグラフィーの結果によると、島弧の内側地域の深さ数100 kmまでの地震波速度は平均よりも遅い(Fukao *et al.*, 1992)。これは、上記の水平引張りの条件下での圧力の減少によるものと考えられる。また深発地震面にそって地震波速度が平均よりも速いが、これは、隆起・沈降の変動の肩の部分から斜め上方にのびる歪の集中帯に対応するものと考えられる。

文 献

- Fitch, T.J., 1970, Earthquake mechanisms and island arc tectonics in the Indonesia-Philippine region. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **60**, 565-591.
- Fitch, T.J. and Molnar, P., 1970, Focal mechanisms along inclined earthquake zones in the Indonesia-Philippine region. *Jour. Geophys. Res.*, **75**, 1431-1444.
- Fukao, Y., Obayashi, M., Inoue, H. and Nenbai, M., 1992, Subducting slabs stagnant in the

- mantle transition zone. *Jour. Geophys. Res.*, **97**, 4809-4822.
- Hayes, D.E. and Lamont Doherty Geological Observatory, 1978, A geophysical atlas of east and southeast Asian seas. Geol. Soc. Amer.
- Hayes, D.E. and Taylor, B., 1978, Tectonics sheet. In *A geophysical atlas of east and southeast Asian seas*, compiled by Hayes *et al.*, Geol. Soc. Amer.
- Holmes, A., 1965, *Principles of Physical Geology*. 1288p., Nelson.
- Kodama, K., Long, Xue-Ming and Suzuki, Y., 1985, Structural analysis of deep-seated volcanic rock reservoirs by tectonic simulation. *UN ESCAP CCOP Techn. Bull.*, **17**, 61-79.
- 小玉喜三郎・鈴木尉元, 1977, マントル物質浮上に伴う中・深発地震面の形成モデル. 地調月報, **29**, 795-810.
- Sezawa, K., 1937, The plastic state of the earth under gravitational forces. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **15**, 878-887.
- Sezawa, K., 1939, The plasticity condition requisite for the formation of normal and reverse faults. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **17**, 661-674.
- 鈴木尉元・小玉喜三郎, 1987, 褶曲モデルの構成. 月刊地球, **9**, 329-337.
- Suzuki, Y., Kodama, K., and Mitsunashi, T., 1977, The formation of intermediate and deep earthquake zone in relation to the geologic development of east Asia since Mesozoic. *Jour. Phys. Earth*, **26**, Supplement, 471-476.
- 鈴木尉元・小玉喜三郎・田村 稯・石橋 裕・片野篤史, 1977, 関東地方の地震の発震機構と地質構造ならびに造溝運動との関係. 地調月報, **28**, 811-834.